LA MATIERE ORGANIQUE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS SOUS L'ETAGE BIOCLIMATIQUE DU CHENE VERT DANS LE MIDI DE LA FRANCE

Pierre BOTTNER

Section d'Eco-Pédologie
du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier
B.P. 1018 — C.N.R.S. — 34 - MONTPELLIER

SOMMAIRE

La matière organique est étudiée dans les sols fersiallitiques à réserve calcique (sols rouges méditerranéens non lessivés) sous forêt de Chêne vert, sous garrigue à Chêne kermès et sous la pelouse à Brachypode rameux puis dans les sols fersiallitiques sans réserve calcique (sols rouges méditerranéens lessivés) sous forêt de Chêne vert.

Les résultats sont obtenus :

1° *A partir d'analyses courantes, réalisées sur une cinquantaine de profils : carbone organique (profil organique), C/N, taux d'extraction, acides humiques, acides fulviques ;*

2° *A partir d'une séparation densimétrique puis d'une extraction fractionnée des composés humiques, contrôlée par électrophorèse (méthode Duchaufour-Jacquin), appliquée à un nombre restreint d'échantillons.*

La matière organique des sols fersiallitiques à réserve calcique est du type mull calcique, comparable à celle des sols calcimorphes de l'étage du Chêne vert. Comme dans les mulls, elle est constituée d'une importante fraction d'humine. Mais la présence d'un complexe absorbant fortement sursaturé en calcium est responsable de la liaison relativement faible d'une partie des composés humiques avec les argiles : celle qui est extraite au pyrophosphate de sodium à pH 7 et à pH 10. Par le test de l'électrophorèse, les acides humiques s'avèrent très polymérisés dans ces mulls.

La dégradation de la forêt et l'établissement de la pelouse à Brachypode rameux sont accompagnés d'un appauvrissement de l'horizon organique superficiel. Les horizons profonds restent inchangés. Les caractères chimiques de l'humus sous forêt et sous pelouse sont peu distincts.

Dans les milieux secs et appauvris des horizons lessivés des sols fersiallitiques sans réserve calcique, la matière organique fraîche se décompose lentement ; elle donne origine à une importante fraction organique légère de densité inférieur à 1,75 ; l'horizon organique est ici superficiel. Il s'agit d'un xeromoder ou d'un cryptomull. Les sols lessivés acides sous forêt de Chêne vert possèdent le même type de matière organique.

Les études récentes sur les terrasses quaternaires (RUTTEN et al., 1963 ; CALLOT et SERVAT, 1966), dans les massifs siliceux (MULLER, 1963 ; WAREMBOURG, 1969) et dans les massifs calcaires (BOTTNER et al., 1969) ou dolomitiques (BOTTNER et BOUKHRIS, 1969) ont permis de mettre en évidence un certain nombre de types de sols dont les plus importants figurent dans le tableau 1.

Certains de ces sols sont actuels ou subactuels ; ils sont liés à des surfaces jeunes ou rajeunies ; ce sont les sols bruns de surfaces wurmiennes, les sols bruns acides sur schistes, les sols calcimorphes sur calcaires tendres et les rendzines dolomitiques. Les sols fersiallitiques, encore appelés sols rouges, sont par contre considérés comme des sols anciens formés sous des conditions paléoclimatiques, différentes des conditions actuelles.

Sur ces sols rouges anciens, s'est installée depuis des temps relativement récents et après des fluctuations climatiques plus ou moins importantes, la forêt de Chêne vert. Elle a imprimé aux paléosols un certain nombre de caractères, qui sont probablement peu importants par rapport aux caractères hérités des périodes plus longues et plus favorables à la pédogénèse.

Par des interventions humaines qui remontent à l'époque préromaine (DUGRAND, 1964), la forêt a été fortement dégradée et remplacée par la garrigue dont les groupements végétaux de dégradation et de reconstitution ont été étudiés essentiellement par BRAUN-BLANQUET (1936, 1964), MOLINIER (1955), BARRY (1960), TRABAUD (1962) et GUILLERM (1969).

Il est classique de distinguer les stades de dégradation suivants :

1° sur roche-mère calcaire dure (sols fersiallitiques à réserve calcique) : la forêt à **Quercus ilex** — la garrigue à **Quercus coccifera** — la pelouse à **Brachypodium ramosum** qui passe à des stades surpâturés à **Euphorbia characias** et à **Asphodelus cerasifer** ;

2° sur roche-mère marneuse (sols calcimorphes) : la forêt à **Quercus ilex** — la lande à **Rosmarinus officinalis** et à **Erica multiflora** — la pelouse à **Aphyllantes monspeliensis** et à **Brachypodium phoenicoides**, etc... ;

3° sur cailloutis du quaternaire ancien (sols fersiallitiques sans réserve calcique) : la forêt à **Quercus ilex** et à **Q. pubescens** — la lande à **Erica scoparia** — la lande à **Cistus salviaefolius** et à **Ornithopus compressus.**

Parmi les caractères essentiels des paléosols rencontrés dans l'étage du Chêne vert, le profil organique est probablement le plus étroitement lié aux conditions bioclimatiques actuelles. Le but de ce travail est d'étudier et de comparer

TABLEAU 1. — *Présentation schématique des sols les plus fréquents sous l'étage bioclimatique du Chêne vert dans le Midi de la France*

ROCHES-MERE	TYPES DE SOLS
SCHISTES	Sols bruns acides, sols lessivés acides.
CALCAIRES DURS	Sols fersiallitiques à réserve calcique. (encore appelés sols rouges méditerranéens non lessivés.)
CALCAIRES TENDRES	Sols calcimorphes: rendzines, sols bruns calcaires, sols bruns calciques.
CALCAIRES SILICEUX	Sols fersiallitiques sans réserve calcique. (encore appelés sols rouges méditerranéens lessivés.)
DOLOMIES	Rendzines dolomitiques, rendzines à xéromoder.
CAILLOUTIS SILICEUX ET CALCAIRES DES TERRASSES QUATERNAIRES	Chronoséquence de sols fersiallitiques sur les terrasses les plus anciennes, à sols bruns sur les terrasses les plus jeunes.

les types de matière organique dans les sols et sous les groupements végétaux les plus représentatifs. Les profils ont été choisis sous la forêt de Chêne-Vert et sous les principaux stades de dégradation de celle-ci.

Cette étude a été menée sur une diversité relativement importante de sols. Par souci de clarté, nous n'avons retenu dans l'exposé détaillé des résultats, que les cas suffisamment représentatifs des différents types de matière organique rencontrés.

Dans la discussion, nous reprendrons les données de l'ensemble des sols étudiés et mentionnés au tableau 1.

Les résultats présentés ici concernent :

1° Les sols fersiallitiques à réserve calcique, sur roche-mère calcaire dure. Les profils organiques ont été étudiés :

a) sous les taillis de Chêne vert ;
b) sous les garrigues à Chêne kermès ;
c) sous les pelouses à Brachypode rameux.

2° Les sols fersiallitiques sans réserve calcique, sur roche-mère calcaire siliceuse et sur cailloutis des terrasses villafranchiennes, sous forêt mixte de Chêne vert et de Chêne pubescent.

I. — PRINCIPAUX CARACTERES DES SOLS ETUDIES.

Les sols dont la matière organique est étudiée ici ont été décrits ailleurs (BOTTNER et al., 1969). Nous présentons brièvement ci-dessous quelques caractères morphologiques et physico-chimiques des horizons supérieurs, c'est-à-dire les milieux dans lesquels se développent les profils organiques.

1.1. LES SOLS FERSIALLITIQUES A RESERVE CALCIQUE.

(Sols rouges méditerranéens non lessivés.)

La matière organique est du type mull calcique. Elle est profondément répartie dans le profil. La morphologie permet de distinguer :

— de 0 à 15 cm, un horizon A_1 limono-argileux, à structure grumeleuse, de couleur 10 R à 2,5 YR (3/2 à 3/6) sous forêt et à structure polyédrique subanguleuse fine à particulaire sous pelouse ;

— de 15 à 80 cm, un horizon A_3 argileux, à structure polyédrique subanguleuse à anguleuse, de couleur moins brune et plus rouge.

Ces sols ne sont pas lessivés ; les teneurs en argiles et en fer sont élevées, jusque dans les horizons superficiels. Les argiles sont du type illite ouverte et kaolinite. L'essentiel du fer est sous forme libre. Celui-ci représente de 75 à 85 % du fer total. L'aluminium libre y est peu abondant.

Dans ces horizons organiques, la charge en cailloux calcaires est importante. La fraction fine est décarbonatée (0 à 3 % de calcaire total, 0 à 2 % de calcaire actif) mais le complexe absorbant est partout fortement sursaturé.

1.2. LES SOLS FERSIALLITIQUES SANS RESERVE CALCIQUE.

(Sols rouges méditerranéens lessivés.)

L'horizon organique est ici très différent de celui décrit précédemment. Il se développe sur l'horizon A_2 du paléosol lessivé. Celui-ci est appauvri en argiles et en fer. Le milieu est très perméable, avec un important squelette inerte de chailles, de silex ou de cailloux siliceux très altérés. La fraction 0-2 μ, peu abondante, est constituée d'argiles du type interstratifié et de grains de quartz.

Le peu de fer présent est également sous forme de fer libre (70 % de fer libre par rapport au fer total). Ces horizons sont complètement décarbonatés mais le complexe absorbant est encore proche de la saturation (taux de saturation : 90-95 %). Le profil est ici très superficiel. Deux cas sont à considérer :

— Dans les sols rouges lessivés où l'horizon A_2 n'est pas trop appauvri et où il subsiste encore en surface suffisamment d'éléments fins (limons, argiles), l'activité des lombricidés peut encore se développer. Il se forme alors un horizon organique A_1, peu coloré par la matière organique, superficiel (de 3 à 8 cm d'épaisseur), mais encore très bien structuré en grumeaux façonnés par les vers de terre. C'est un cryptomull. → Non !

— Dans les milieux très appauvris, où l'activité des lombricidés n'est plus possible, il se forme un Ao toujours peu épais (3 à 8 cm), à structure feuilletée ou fibreuse. Il s'agit d'un xéromoder.

En définitive, dans les sols rouges méditerranéens non lessivés, la matière organique évolue dans un milieu calcique riche en argiles et en fer libre où l'activité des lombricidés est intense et s'étend profondément dans le sol. Elle est du type mull calcique.

Dans les sols rouges lessivés, par contre, l'horizon A_2 est pauvre en argiles et en fer. Le complexe absorbant est encore proche de la saturation. L'activité des lombricidés, si elle est possible, n'est localisée qu'en surface. L'horizon organique est toujours superficiel. Il s'agit de cryptomull dans les sols les moins appauvris et de xéromoder dans les sols les plus évolués.

II. — QUELQUES VALEURS CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE ORGANIQUES.

Avant d'aborder l'étude détaillée de la matière organique effectuée sur un nombre restreint d'échantillons, nous présentons ici quelques résultats d'analyses courantes pratiquées sur un grand nombre de sols. Ces données sont exprimées dans les figures I et II et regroupées dans le tableau 2.

2.1. LE PROFIL ORGANIQUE.

Les profils organiques des sols étudiés sont représentés dans la figure I. Le carbone organique a été dosé par voie sèche (Carmographe WOSTHOFF), après élimination du carbone minéral (ESPIAU et LARGUIER, 1967).

Comme l'avait déjà montré l'étude morphologique, la matière organique est répartie profondément dans les profils fersiallitiques à réserve calcique. A 60 cm de profondeur, les valeurs du carbone sont encore de l'ordre de 2 ‰, quel que soit le type de végétation.

Les profils organiques sous Chêne vert et sous Chêne kermès sont identiques ; ils sont du type forestier. Par rapport aux profils de pelouse, ils sont plus riches en matière organique mais cet enrichissement se manifeste exclusivement dans les horizons supérieurs A_1 ; les horizons organiques profonds, les A_3, restent inchangés. Sous forêt, la matière organique est essentiellement issue de la litière.

Dans les profils organiques des pelouses, les quantités de carbone organique sont plus faibles en surface et elles décroissent lentement avec la profondeur.

Ceci concerne les valeurs moyennes. En réalité, on constate dans le graphique une grande dispersion des points, autant sous forêt que sous pelouse : certains profils, sous le Brachypode rameux, sont plus riches en matière organique que d'autres sous Chêne vert et vice-versa.

Les données concernant les sols fersiallitiques sans réserve calcique sont très différentes. La matière organique est ici concentrée en surface : à 20 cm de profondeur, il y a moins de 1 ‰ de carbone. Les teneurs en surface sont par contre plus importantes : 5 à 10 ‰ dans les cryptomulls et jusqu'à 17 ‰ dans les xéromoders.

En définitive, on constate, dans les mulls calciques des sols fersiallitiques à réserve calcique, une répartition profonde de la matière organique, quel que soit le type de végétation. Sous Chêne vert et sous Chêne kermès, le profil est enrichi en surface. La dégradation de la végétation ligneuse et l'établissement de la pelouse amènent un appauvrissement par minéralisation, uniquement dans les horizons superficiels. Cependant, les valeurs obtenues sous forêt et sous pelouse sont très dispersées, de telle sorte que les zones de répartition des points se chevauchent. Ceci est explicable par l'âge des profils organiques et des groupements végétaux. Il est possible que sous les forêts de Chêne vert reconstituées, étudiées ici, ou sous les pelouses de dégradation, les profils organiques n'aient pas encore atteint leur état d'équilibre. La végétation est elle-même soumise à des remaniements constants. Par ailleurs, un rôle essentiel est joué par l'hétérogénéité des conditions écologiques. La production végétale et de matière organique dans le sol est probablement très variable suivant les conditions édaphiques et microclimatiques.

2.2. LE RAPPORT CARBONE/AZOTE.

Ce rapport est fonction du degré de minéralisation de la matière organique.

Sous les pelouses (figure I) des sols rouges non lessivés, le rapport est faible : de 10 à 12. Les valeurs sont peu dispersées et elles ne varient pas en profondeur.

Sous Chêne vert et Chêne kermès, elles s'échelonnent autour de 15 ; la dispersion des points est également réduite et le rapport baisse en profondeur.

Les valeurs les plus élevées sont atteintes dans les cryptomulls (C/N de 16) et dans les xéromoders (C/N de 18).

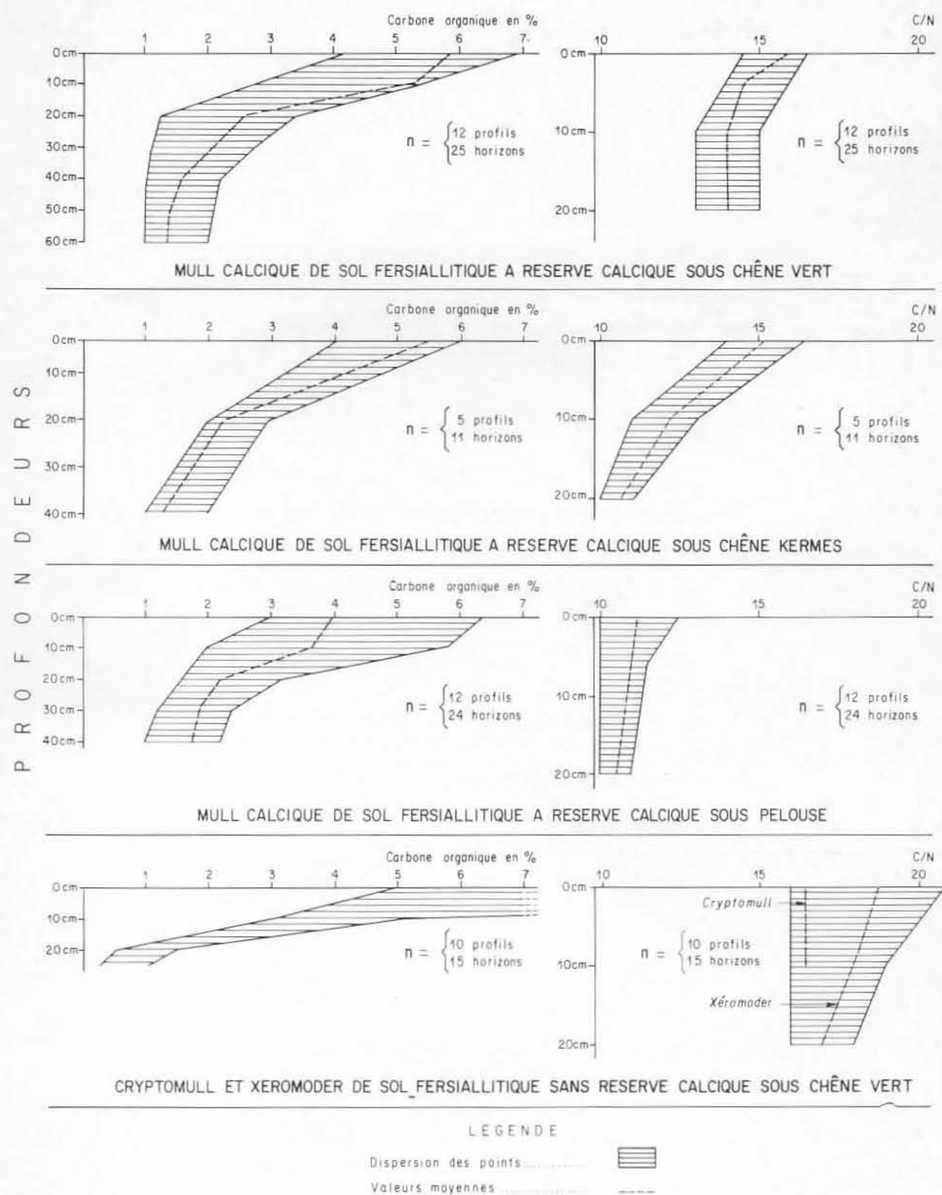


FIGURE I. — PROFILS ORGANIQUES (à gauche) et RAPPORTS CARBONE/AZOTE (à droite) *dans les sols fersiallitiques avec et sans réserve calcique et sous les principaux types de végétation. Les teneurs en carbone organique et les rapports C/N sont exprimés en fonction de la profondeur*

2.3. LE DEGRE DE POLYMERISATION DES COMPOSES HUMIQUES.

Les composés humiques ont été obtenus ici en une seule extraction au pyrophosphate à 0,1 M et les acides humiques sont précipités en milieu sulfurique. Après dessiccation à 70° C, le dosage du carbone organique est effectué par la méthode ANNE.

Le taux d'extraction correspond au rapport du carbone extrait/carbone total (figure II). Le rapport acides humiques/acides fulviques est ici représenté par le carbone des acides humiques en % du carbone des composés humiques extraits : acides humiques en % des acides humiques + acides fulviques (figure II).

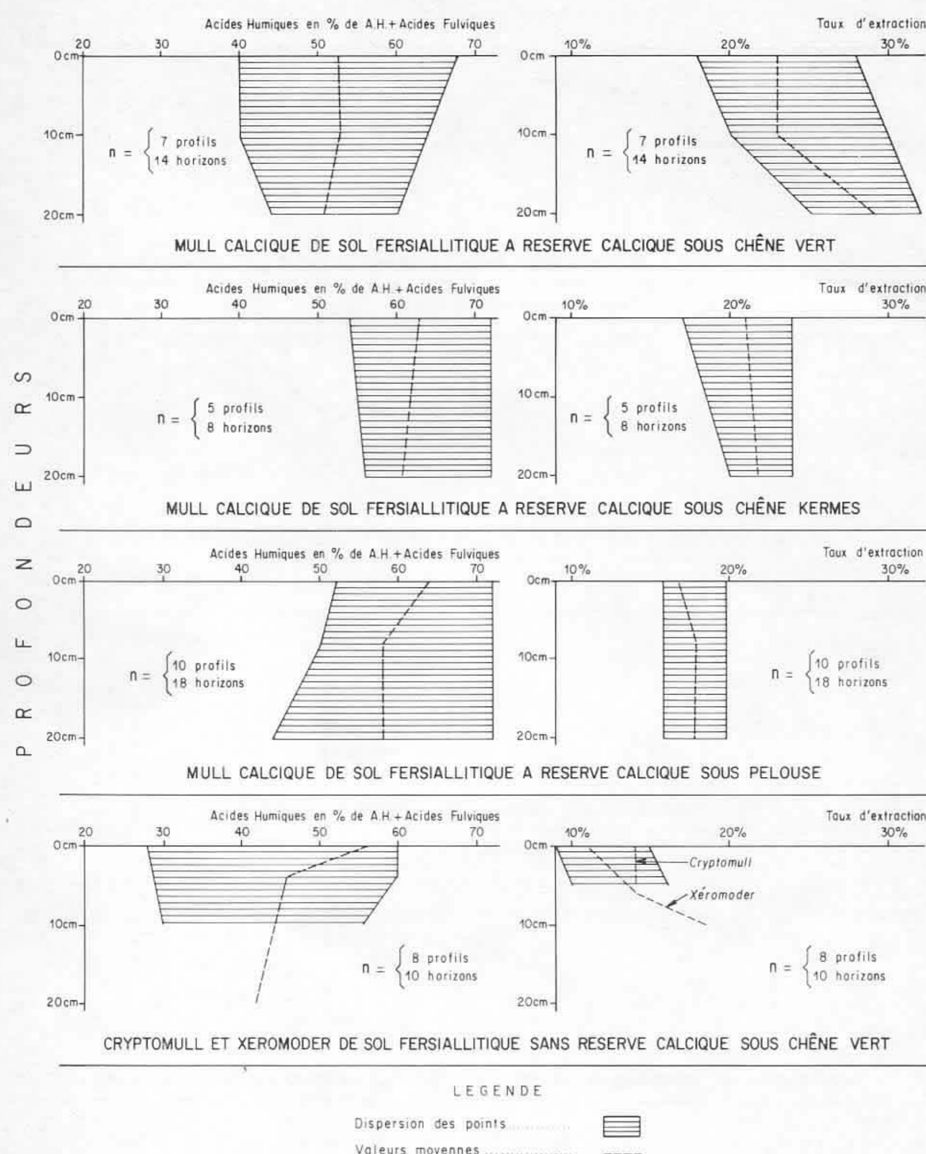


FIGURE II. — ACIDES HUMIQUES ET FULVIQUES (à gauche) et TAUX D'EXTRACTION (à droite) *dans les sols fersiallitiques avec et sans réserve calcique et sous les principaux types de végétation. Les acides humiques sont exprimés en % des acides humiques + acides fulviques et en fonction de la profondeur. Le taux d'extraction = carbone extrait au pyrophosphate de sodium* 0,1 M *en % du carbone organique total. Il est également exprimé en fonction de la profondeur*

Dans les mulls calciques, le taux d'extraction est partout faible. Les valeurs les plus basses sont observées sous les pelouses (18 à 20 %). Elles sont bien regroupées et ne varient pas avec la profondeur. Ce taux est légèrement plus élevé et les valeurs sont plus dispersées sous Chêne vert et sous Chêne kermès. Dans les sols rouges lessivés, le taux d'extraction est très bas (11 %).

Les composés humiques des mulls calciques (figure II) sont du type acides humiques : plus de 50 % d'acides humiques, c'est-à-dire acides humiques/acides fulviques $>$ 1. Ils ne varient pas d'une façon significative sous les trois types de végétation. Les composés humiques des cryptomulls et des xéromoders sont par contre plus proches du type fulvique : acides humiques/acides fulviques $\leq$ 1.

TABLEAU 2. — *Matière organique totale, rapport carbone/azote, acides humiques et taux d'extraction dans les horizons* A_1 *des types de sol et sous les types de végétation étudiés*

	CARBONE ORGANIQUE TOTAL			CARBONE / AZOTE			AC. HUMIQUES EN % AC. HUMIQUES + AC. FULVIQUES			TAUX D'EXTRACTION C extrait au $Na_4P_2O_7$ 0,1M EN % DU C TOTAL		
	Moy.	valeurs extrêmes		Moy.	valeurs extrêmes		Moy.	valeurs extrêmes		Moy.	valeurs extrêmes	
SOLS FERSIALLITIQUES A RESERVE CALCIQUE:												
SOUS FORET DE CHENE VERT	5,7	3,9	6,8	15,5	14,5	16,5	52	40	67	23	18	28
SOUS GARRIGUE A CHENE KERMES	5,0	3,8	5,8	15	14	16,5	62	54	72	21	17	24
SOUS PELOUSE A BRACHYPODE RAMEUX	3,9	2,8	6,1	11	10	12,5	63	52	72	17	16	20
SOLS FERSIALLITIQUES SANS RESERVE CALCIQUE:												
SOUS FORET DE CHENE VERT	10	5,0	17,0	17,5	16	21	56	28	60	13	9	15

2.4. CONCLUSION.

Les données exposées ci-dessus permettent de distinguer dans les sols étudiés, quatre types de matière organique :

1° Le xéromoder des sols rouges lessivés les plus évolués. C'est un Ao peu épais. Les teneurs en carbone total sont élevées. La matière organique y est peu minéralisée. Les composés humiques extractibles sont très peu abondants et contiennent en majorité des acides fulviques ;

2° Le cryptomull des sols rouges lessivés. Il se distingue du xéromoder par ses caractères morphologiques. Il est également peu épais, mais très bien structuré par les lombricidés. C'est un A_1. Le carbone total est moins abondant, mais les propriétés chimiques sont proches de celles du type de matière organique précédent : minéralisation incomplète, faible proportion des composés humiques extractibles constitués, ici aussi, en majorité d'acides fulviques ;

3° Le mull calcique des sols rouges non lessivés sous pelouse. La matière organique est peu abondante, mais elle est répartie profondément dans le profil. Elle est ici très bien minéralisée. Les composés humiques extractibles, un peu plus abondants, sont du type acides humiques ;

4° Le mull calcique des sols rouges non lessivés, sous forêt de Chêne vert et sous garrigue à Chêne kermès. Les caractères morphologiques sont proches de ceux du mull précédent. Le profil organique est ici enrichi en surface. Le C/N est plus élevé et les composés humiques extractibles sont plus abondants, ils sont également constitués en majorité d'acides humiques.

III. — EXTRACTION FRACTIONNEE DES COMPOSES HUMIQUES CONTROLEE PAR L'ELECTROPHORESE.

Les données précédentes ont été obtenues à partir d'analyses relativement rapides, applicables à un grand nombre de profils. Elles concernent la matière organique globale : fraction légère peu décomposée + humus. Elles ont permis de sélectionner un nombre relativement restreint d'échantillons sur lesquels un fractionnement plus détaillé a été effectué. La méthode utilisée est celle de DUCHAUFOUR-JACQUIN (1963 et 1966), que nous avons quelque peu modifiée afin de réduire la durée des manipulations.

Les renseignements obtenus par cette méthode concernent :

1° Le degré de décomposition de la matière organique fraîche. Une séparation densimétrique permet de séparer la matière organique peu ou pas décomposée (la fraction légère), de la fraction lourde liée aux argiles ;

2° Le degré de liaison des composés humiques avec la fraction minérale. La méthode consiste en une extraction fractionnée des composés humiques à des pH croissants ;

3° Le degré de polymérisation des acides humiques dans les différentes extractions. Ceux-ci sont caractérisés par l'électrophorèse.

Les types de matière organique étudiés par cette méthode sont les suivants :

— deux échantillons de mull calcique sur sol fersiallitique à réserve calcique (sol rouge méditerranéen non lessivé), sous pelouse à Brachypode rameux ;
— deux échantillons de mull calcique sur sol fersiallitique à réserve calcique, sous forêt de Chêne vert ;
— deux échantillons de cryptomull sur sol fersiallitique sans réserve calcique (sol rouge méditerranéen lessivé), sous forêt de Chêne vert ;
— deux échantillons de xéromoder sur sol fersiallitique sans réserve calcique, sous forêt de Chêne vert.

3.1. FRACTIONNEMENT DE LA MATIERE ORGANIQUE.

3.1.1. Séparation densimétrique :

La séparation densimétrique est effectuée dans un mélange méthanol-bromoforme de d = 1,75.

Les résultats sont donnés dans le tableau 3. Dans les mulls calciques, les fractions légères sont peu abondantes ; elles sont très faibles dans les sols sous pelouse et plus importantes sous forêt.

Malgré la structure encore très grumeleuse dans les cryptomulls, la fraction légère de ce type de matière organique est déjà élevée : 50 % de carbone par rapport au carbone total.

Dans les xéromoders, à structure feuilletée ou fibreuse, la fraction légère est importante mais variable.

3.1.2. Extraction fractionnée des composés humiques.

Sur les fractions densimétriques lourdes et légères, la matière organique soluble est obtenue par quatre extractions successives.

TABLEAU 3. — Séparation densimétrique : *Séparation à la densité de* 1,75 *de la fraction densimétrique lourde et de la fraction densimétrique légère. Chaque échantillon a subi trois séparations successives*

TYPES DE MATIERE ORGANIQUE, SOL, VEGETATION	N° des profils	Carbone organique total en % terre fine	CARBONE ORGANIQUE DANS LA FRACTION LEGERE	CARBONE ORGANIQUE DANS LA FRACTION LOURDE
			en % du carbone total	
MULLS CALCIQUES, sur sol fersiallitique à réserve calcique, sous forêt de Chêne vert.	L 23	4,2%	32%	68%
	L 33	3,5%	16%	84%
MULLS CALCIQUES, sur sol fersiallitique à réserve calcique, sous pelouse à Brachypode rameux	L 28	6,2%	7%	93%
	L 29	3,0%	2%	98%
CRYPTOMULLS, sur sol fersiallitique sans réserve calcique, sous forêt de Chêne vert	L 43	8,4%	44%	56%
	L 80	6,2%	48%	52%
XEROMODERS, sur sol fersiallitique sans réserve calcique, sous forêt de Chêne vert	L 54	15,6%	65%	35%
	L 55	17,0%	90%	10%

— L'EXTRAIT 0 : les mulls calciques étant fortement sursaturés et les cryptomulls étant proches de la saturation, nous avons effectué un prétraitement acide. L'échantillon a été percolé par une solution de H_2SO_4 N/10 jusqu'à élimination complète des carbonates (test à l'oxalate d'ammonium). La solution acide extrait une faible quantité de matière organique que nous avons appelée EXTRAIT O. (EO dans la figure III) ;

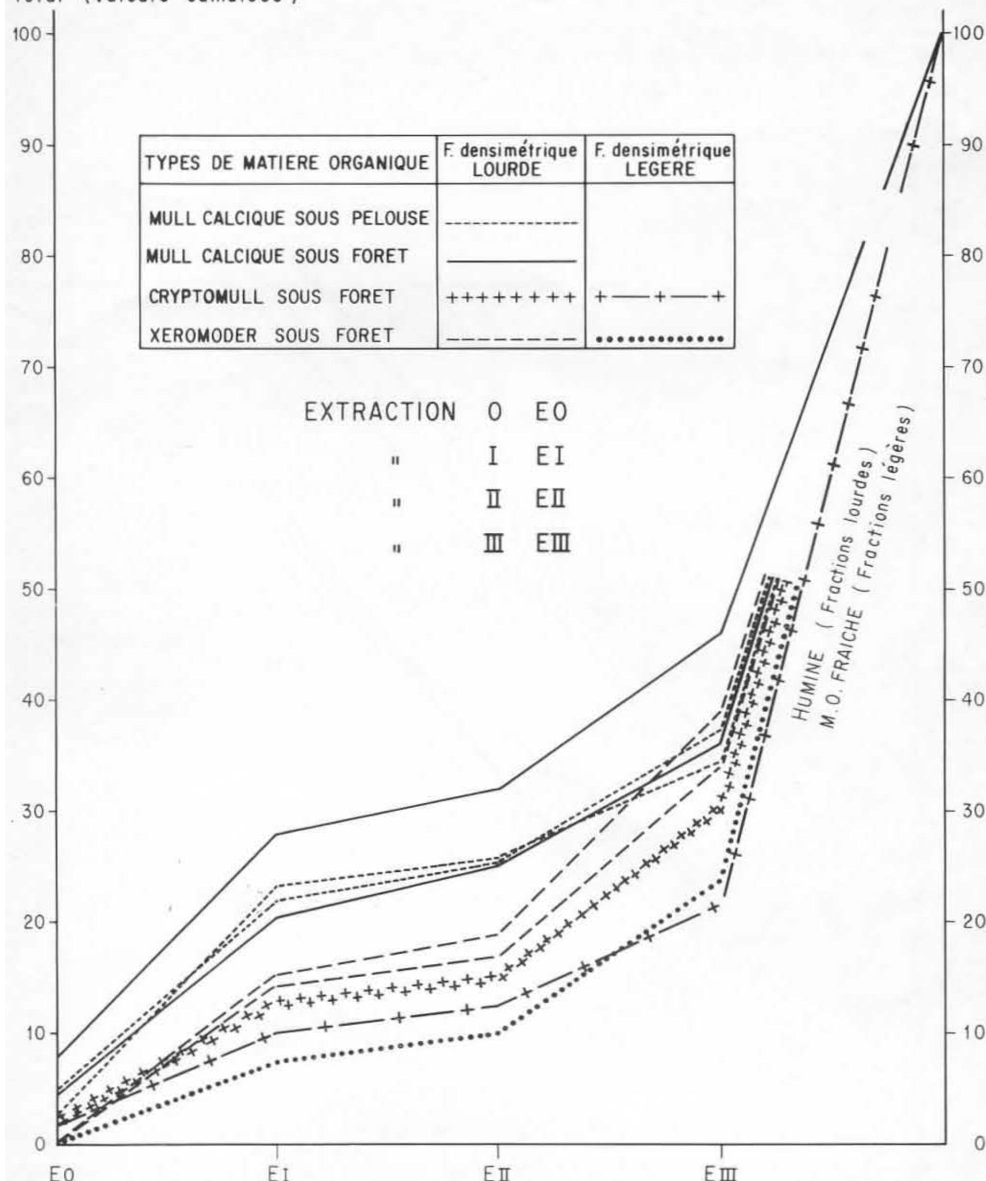


FIGURE III. — EXTRACTION FRACTIONNEE DES COMPOSES HUMIQUES DANS LES FRACTIONS DENSIMETRIQUES LOURDES ET LEGERES. *Le carbone des différentes fractions est exprimé sous forme cumulative : EO + EI + EII + EIII + HUMINE (ou M.O. FRAICHE) = 100 % = carbone total*

— L'EXTRAIT I : après prétraitement acide, une autre fraction de matière organique est obtenue par deux extractions successives au pyrophosphate de sodium à 0,1 M avec 7,5 % de sulfate de sodium à pH 7. Ces deux extractions dosées ensemble correspondent à l'EXTRAIT I de DUCHAUFOUR. (E I dans la figure III);

— L'EXTRAIT II : celui-ci est obtenu par le traitement du même échantillon de sol par du pyrophosphate de sodium seul à 0,1 M et à pH entre 9 et 10. C'est l'E II de la figure III ;

— L'EXTRAIT III correspond à une dernière extraction à la soude N/10. Il est appelé E III.

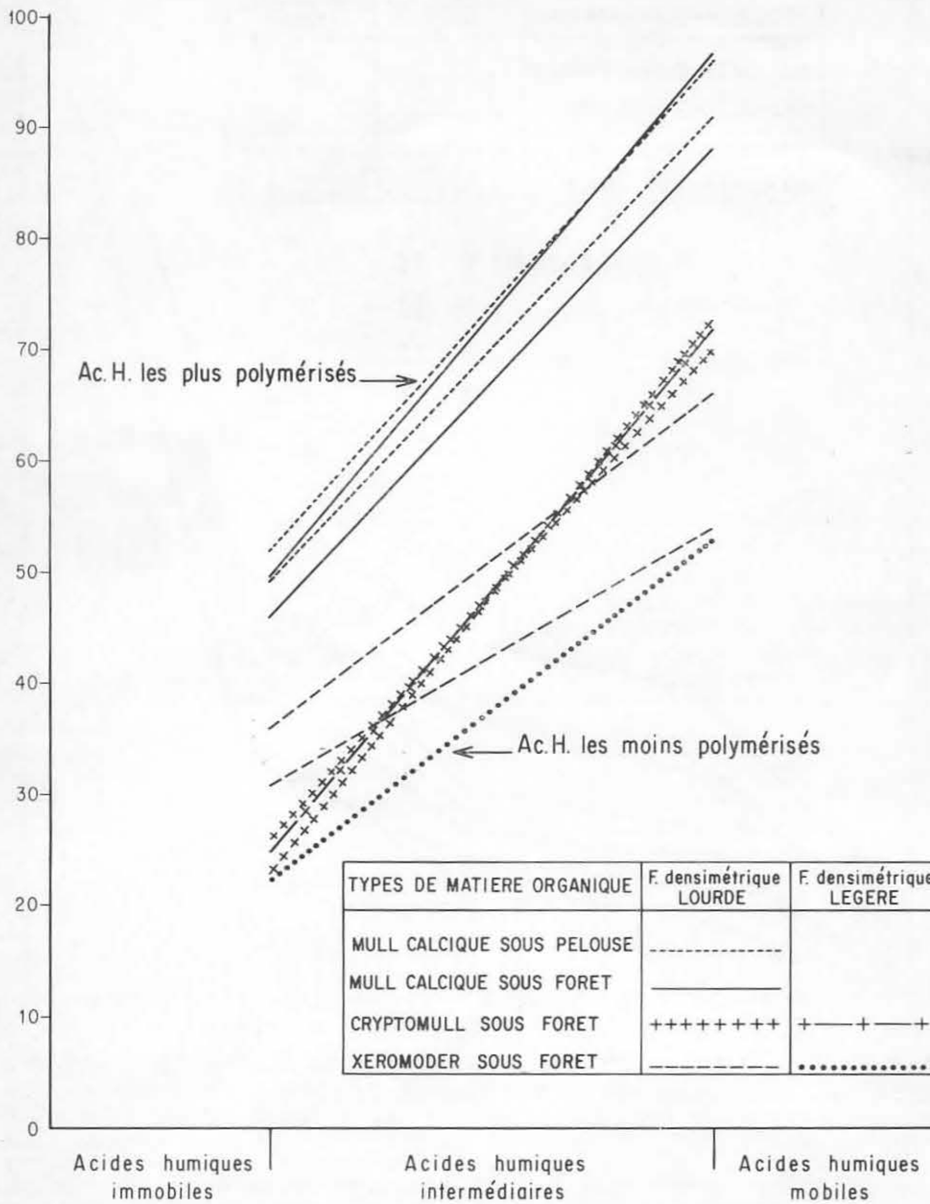


FIGURE IV. — FRACTIONNEMENT PAR ELECTROPHORESE DES ACIDES HUMIQUES DE L'EXTRAIT I. — *Les quantités d'acides humiques immobiles, intermédiaires et mobiles sont exprimées sous forme cumulative : ac. hum. immobiles + ac. hum. intermédiaires + ac. hum. mobiles* = 100 % = *ac. hum. totaux*

La matière organique non extraite correspond à l'HUMINE pour les fractions densimétriques lourdes et à la MATIERE ORGANIQUE FRAICHE (non décomposée) pour les fractions densimétriques légères.

Afin de réduire les manipulations, nous avons, dans chacune de ces extractions, déterminé les teneurs en carbone total et non en acides humiques et fulviques. Le dosage a été effectué par voie humide (méthode ANNE). Les composés humiques sont desséchés à 35° C sous vide, puis, après addition du mélange sulfochromique, l'oxydation de la matière organique est réalisée pendant une heure dans une étuve à 150° C. Les extractions et le dosage du carbone ont été effectués en double pour chaque échantillon. L'erreur relative entre les deux dosages est de 1 à 2 %.

Compte tenu de ces erreurs, l'examen de la figure III permet de regrouper les fractions densimétriques étudiées en trois types :
— les fractions légères des cryptomulls et des xéromoders ;
— les fractions lourdes des cryptomulls et des xéromoders ;
— les fractions lourdes des mulls calciques.

Les fractions légères des cryptomulls et des xéromoders contiennent une grande quantité de matière organique fraîche non décomposée : 75 %. Ce sont des débris de racines et de feuilles. Il est probable, en outre, que les composés extraits en III, dans ces fractions densimétriques légères, soient en partie néoformés (THOMANN, 1963).

Dans toutes les fractions lourdes, l'humine est importante, malgré le prétraitement acide effectué sur les horizons dont le complexe absorbant était saturé ou sursaturé.

La différence fondamentale entre les fractions lourdes des mulls calciques d'une part et celles des cryptomulls et des xéromoders d'autre part, réside dans la proportion des extraits I + II et de l'extrait III. Dans les mulls calciques, les extraits I + II sont importants, l'extrait III est plus réduit. Dans les fractions lourdes des cryptomulls et des xéromoders, I + II est plus faible, mais les composés extraits en III sont plus abondants.

En définitive, l'extraction fractionnée fournit des indications concernant le degré de liaison de la matière organique avec la matière minérale. L'essentiel des fractions légères est constitué de matière organique fraîche. Dans les fractions lourdes, le carbone correspondant à l'humine est partout en forte proportion. Mais, parmi les composés humiques extraits dans les fractions lourdes, ceux des mulls calciques sont moins énergiquement liés que ceux des cryptomulls et des xéromoders. Selon DUCHAUFOUR et JACQUIN (1963 et 1966), les composés humiques extraits en I et II seraient essentiellement liés aux argiles par le calcium ; ils prédominent ici dans le mull calcique. Ceux extraits en III seraient davantage liés par le fer (ou l'aluminium) ; ils sont plus abondants dans le cryptomull et le xéromoder.

3.2. COMPORTEMENT DES ACIDES HUMIQUES A L'ELECTROPHORESE.

Le fractionnement par électrophorèse a été réalisé sur les acides humiques des extraits I (figure IV) et II (figure V). Il a été exécuté sur papier Arche 302, en milieu tamponné à pH 7,4 et sous une tension de 7 volts/cm pendant 3 heures. Pour chaque échantillon, quatre répétitions ont été effectuées et l'erreur relative s'avère être ici de l'ordre de 10 %.

Dans les figures IV et V, les résultats ont également été représentés sous forme cumulative. Dans ces graphiques, les composés humiques les moins polymérisés sont en bas de la figure (acides humiques immobiles peu abondants, acides humiques mobiles abondants). Les composés humiques les plus polymérisés sont en haut de la figure.

Compte tenu de l'erreur relative, l'examen des résultats permet de distinguer :
— les fractions lourdes des mulls calciques forestiers et de pelouses. Ils contiennent le maximum d'acides humiques immobiles et le minimum d'acides humiques mobiles. Ce sont les composés les plus polymérisés ;
— les fractions lourdes des xéromoders. Ils contiennent le minimum d'acides humiques immobiles et le maximum d'acides humiques mobiles ; ils sont relativement peu polymérisés ;
— les fractions lourdes des cryptomulls qui sont intermédiaires ;
— enfin les acides humiques des fractions légères qui sont également peu polymérisées.

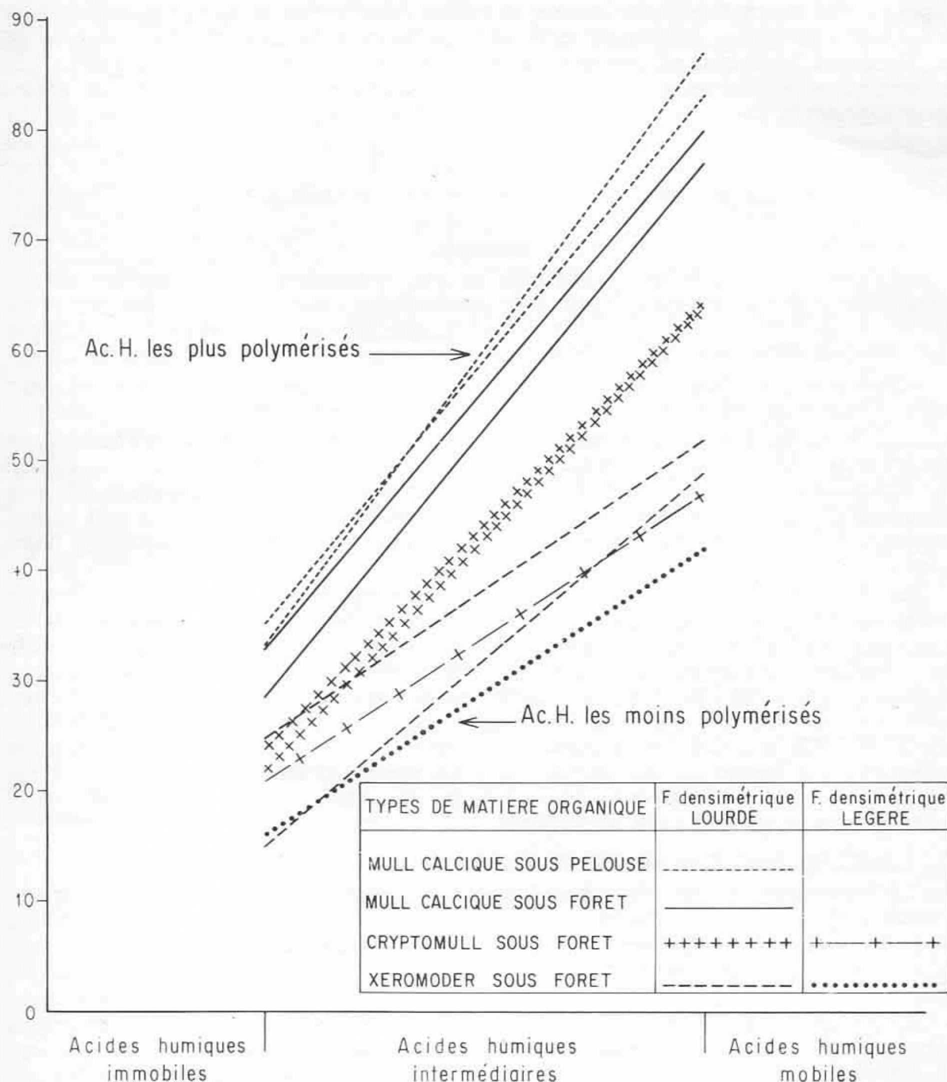


FIGURE V. — FRACTIONNEMENT PAR ELECTROPHORESE DES ACIDES HUMIQUES DE L'EXTRAIT II. *Les fractions sont exprimées sous forme cumulative comme dans la figure IV*

3.3. CONCLUSION.

Le fractionnement des composés humiques par cette méthode a permis d'obtenir des renseignements sur le degré de décomposition de la matière organique fraîche, le degré de fixation des composés humiques avec la fraction minérale et enfin le degré de polymérisation des acides humiques.

Les fractions légères sont peu abondantes dans les mulls calciques des pelouses et plus élevées dans les mulls forestiers. Leur importance est croissante des crypto-

mulls aux xéromoders. Elles sont de nature identique à travers tous ces sols et sont essentiellement constituées de matière organique fraîche où les composés humifiés sont peu abondants et peu polymérisés. Il est très probable que dans ces fractions il y ait néoformation lors de l'extraction à la soude.

L'importance de l'humine ne permet pas de distinguer les fractions densimétriques lourdes à travers les types de sol étudiés. Elle est partout prédominante. Les différences entre les fractions lourdes résident ici dans le degré de liaison des composés humiques extractibles et leur degré de polymérisation.

Dans les milieux à complexe absorbant fortement sursaturé, où se développent les mulls calciques, à côté de l'humine très résistante, existent des composés humiques facilement extractibles au pyrophosphate. Ils sont probablement liés aux argiles par le calcium. Le contrôle par électrophorèse montre, par contre, qu'ils sont très polymérisés.

Dans les milieux neutres et partiellement désaturés des cryptomulls, dans la fraction lourde, l'humine reste toujours importante ; mais les composés humiques extractibles sont ici plus fortement liés : ils ne sont dissouts en majorité qu'à la soude ; ce sont des acides humiques probablement liés par le fer. Ils sont par contre moins polymérisés que dans les mulls précédents.

Dans les milieux plus désaturés et plus acides des xéromoders, là où la fraction légère est nettement prédominante, la matière organique des fractions lourdes est encore fortement liée aux argiles ; mais la polymérisation de ces composés extractibles est ici encore plus réduite.

IV. — DISCUSSION.

A titre de comparaison, ce travail a été étendu à d'autres types de sol rencontrés sous l'étage bioclimatique du Chêne vert, en particulier aux sols calcimorphes sur calcaire tendre et aux sols lessivés acides sur schistes (tableau 1). A partir de l'ensemble des résultats obtenus, nous abordons quelques problèmes concernant la matière organique des sols sous l'étage du Chêne vert.

Nous apporterons aussi quelques points de comparaison des types de matière organique étudiés dans les sols d'autres étages bioclimatiques non méditerranéens. Les résultats présentés ici font en effet partie d'un ensemble de travaux, non encore publiés, concernant, à part l'étage du Chêne vert, celui du Chêne pubescent, de la hêtraie et des étages montagnards dans les Alpes du Sud.

4.1. LA BRUNIFICATION DES SOLS FERSIALLITIQUES A RESERVE CALCIQUE.

Les sols fersiallitiques à réserve calcique sont des paléosols. Nous avons montré au début de ce travail qu'il était difficile de mettre en évidence, sur ce matériel actuellement plus ou moins figé, des phénomènes actifs de pédogénèse. Selon les pédologues français, ces sols sont actuellement brunifiés ; ils sont classés sols fersiallitiques à réserve calcique brunifiés, parce que, morphologiquement, ils ont un horizon organique profond de couleur brune, dont nous avons exposé les caractères physicochimiques ci-dessus.

Ce type de matière organique a été comparé à celui de deux rendzines, sur lesquelles la méthode DUCHAUFOUR-JACQUIN a également été appliquée. Les résultats permettent de conclure, qu'il existe une similitude entre les deux types de matière organique. Dans les deux cas, le C/N est bas, l'humine constitue une fraction importante parmi les composés humiques extraits, ceux de l'extraction I et II prédominent sur ceux extraits à la soude et les acides humiques sont, dans les deux cas, peu mobiles à l'électrophorèse.

La matière organique des sols fersiallitiques à réserve calcique du midi de la France est du type mull calcique, semblable à celle des sols calcimorphes. Elle est caractérisée par les points suivants :

1° Dans ces sols de pH neutre à basique, où l'activité des lombricidés est forte, la matière organique fraîche évolue plus rapidement que dans les horizons lessivés des sols fersiallitiques sans réserve calcique. Cependant, sous forêt, les valeurs du C/N de l'ordre de 15 dans les horizons A_{11} sont plus élevées que dans les mulls forestiers sur roche-mère calcaire, sous la hêtraie par exemple. Par ailleurs, comme nous l'avons vu précédemment, les fractions organiques légères sont dans les mulls calciques, sous l'étage du Chêne vert, encore élevées (16 % et 32 % dans les deux échantillons analysés). La décomposition de la matière organique fraîche sous la forêt de Chêne vert

est entravée par le caractère xéromorphe des feuilles. Ceci est manifeste dans les sols lessivés où il y a apparition d'un xéromoder, mais est également sensible dans les mulls calciques des sols rouges non lessivés ;

2° La richesse en argiles et en fer libre assure un blocage de la plus grande partie de l'humus au niveau de l'humine. Les argiles sont ici du type illite et kaolinite ; le pourcentage d'humine est sensiblement identique à celui des mulls rencontrés sous d'autres conditions climatiques ;

3° Cependant, dans les sols fersiallitiques à réserve calcique, le complexe absorbant est fortement sursaturé en ions calcium ; il s'en suit que dans ces mêmes sols, la liaison d'une partie importante des composés humiques avec l'argile reste relativement faible. Ils sont extraits au pyrophosphate ;

4° Les conditions d'alternance climatique de sécheresse et d'humidité du midi de la France sont probablement responsables de la forte polymérisation des composés humiques extractibles, vérifiée par l'électrophorèse.

En effet, les phorégrammes obtenus à partir des acides humiques des mulls calciques de l'étage du Chêne vert, sont significativement plus riches en acides humiques immobiles et plus pauvres en acides humiques mobiles que ceux des mulls forestiers rencontrés sous des climats moins secs.

Dans la littérature, on trouve peu d'éléments de comparaison concernant la matière organique d'autres sols rouges du Bassin méditerranéen. En particulier, nous ne connaissons pas la matière organique des sols fersiallitiques à réserve calcique non brunifiés. Les données sont, à l'état actuel des recherches, insuffisantes pour porter une conclusion au problème de la brunification actuelle des sols rouges anciens.

4.2. L'ISOHUMISME DES SOLS FERSIALLITIQUES A RESERVE CALCIQUE SOUS LES PELOUSES DE DEGRADATION.

Dans les sols fersiallitiques à réserve calcique, la dégradation de la végétation forestière et l'établissement des pelouses sont accompagnés, au niveau du sol, d'un certain nombre de modifications que nous résumons ici.

— La structure des horizons superficiels passe de grumeleuse à polyédrique fine et dans les cas extrêmes à particulaire ;

— En général, la couleur brun foncée des horizons organiques sous forêt s'éclaircit un peu sous la pelouse ;

— Les bases, telles que le potassium et le magnésium, concentrées à la surface du profil organique forestier sont réparties plus profondément sous pelouse ;

— Les caractères chimiques de la fraction organique lourde varient peu à travers les deux types de sol (le taux d'extraction est un peu plus élevé sous forêt et le C/N également). Ce sont ceux du mull calcique que nous avons présentés dans ce travail ;

— La modification la plus importante est celle du profil organique. En général, sous pelouse, il s'appauvrit en surface, mais il n'est pas modifié dans les horizons profonds A_3. Le profil sous pelouse est alors du type « isohumique ».

Pour ce dernier point, des constatations similaires ont été faites par RUELLAN (1966) dans les sols bruns et chatains isohumiques au Maroc. L'isohumisme dans ces sols serait le résultat de l'appauvrissement superficiel du profil organique d'anciens sols de forêts, qui, après dégradation, sont actuellement remplacés par des steppes.

Il y a cependant des différences fondamentales entre les sols bruns isohumiques et les sols des pelouses étudiés ici. Si dans les deux cas, le profil organique est profond et à décroissance lente, dans le midi de la France, les teneurs en carbone organique sont plus importantes et les rapports C/N sont plus élevés (10 à 12 contre 8 à 10). On soupçonne par ailleurs une matière organique encore plus polymérisée dans les sols isohumiques que dans les sols fersiallitiques du midi de la France.

4.3. L'EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES SOLS FERSIALLITIQUES SANS RESERVE CALCIQUE.

Ces sols sont très évolués et très anciens. La matière organique se développe sur l'horizon A_2 du paléosol : celui-ci est perméable et appauvri.

Ce type de matière organique a été comparé à celui de deux sols lessivés acides, sous Chêne vert et sur schistes (WAREMBOURG, 1969). Les résultats obtenus permettent de conclure qu'ici également il y a une similitude entre les deux types. Les résultats

sont aussi comparables à ceux obtenus par DUCHAUFOUR et DOMMERGUES (1963) concernant la matière organique d'un sol sur schistes, sous chêne vert et appelé alors par MULLER (1963) « Sol brun méditerranéen ».

Ici, elle est constituée de deux parties essentielles : la fraction organique fraîche ou peu décomposée et la fraction humifiée, liée aux argiles.

Suivant l'importance de l'un ou de l'autre de ces deux constituants, nous l'avons appelé xéromoder ou cryptomull : xéromoder parce que le Ao n'est jamais épais, cryptomull parce que l'horizon organique est structuré mais que, là aussi, il est toujours superficiel et peu coloré par les composés humiques.

L'évolution de la matière organique dans ces deux types de sol peut alors être schématisée comme suit : la matière organique fraîche se décompose plus lentement que dans les mulls calciques des sols précédents. Elle donne origine à la fraction organique légère. Parmi les composés humiques, la fraction la plus mobile est probablement lessivée à travers les milieux très percolants des horizons éluviaux et minéralisée pendant sa migration. La fraction qui subsiste est alors très énergiquement liée aux argiles car dans ces horizons le complexe absorbant n'est pas sursaturé en calcium.

Dans les paléosols qui ont été étudiés ici, ce sont les conditions de milieu des horizons superficiels qui orientent l'évolution de la matière organique.

CONCLUSION.

Le but de ce travail était d'étudier la matière organique dans les sols les plus fréquents rencontrés sous l'étage du Chêne vert. Un accent particulier a été mis sur les sols fersiallitiques parce qu'ils ont une grande extension à travers les pays circum-méditerranéens. Dans le midi de la France, il s'agit de paléosols et c'est la matière organique qui est probablement la plus étroitement liée aux conditions bioclimatiques actuelles. Cette étude a permis de dégager les faits suivants :

1° La décomposition de la matière organique fraîche est relativement lente dans les horizons lessivés où elle donne origine à un xéromoder ou à un cryptomull dont la fraction densimétrique légère est importante. Cela se traduit également dans le mull calcique des horizons non lessivés par un C/N relativement élevé sous forêt, et par une fraction organique légère non négligeable. La cause en est probablement le caractère xéromorphe ou ligneux des feuilles de Chêne vert et la sécheresse estivale ;

2° La présence dans les sols fersiallitiques à réserve calcique d'un complexe absorbant fortement sursaturé en calcium, est en relation avec la quantité importante de composés humiques extraits au pyrophosphate, c'est-à-dire dont la liaison avec les argiles est relativement faible.

3° Par le test de l'électrophorèse, les composés humiques, extraits des mulls calciques des sols fersiallitiques à réserve calcique, s'avèrent très polymérisés. Ils sont significativement plus polymérisés que dans les mulls calciques des étages bioclimatiques plus humides ;

4° Les différences dans les caractères entre mulls calciques sous forêt et sous pelouse sont faibles. Si les valeurs moyennes des profils organiques sous forêt et sous pelouse sont distinctes, les zones de répartition des points se chevauchent partiellement ;

5° Des sols rouges non lessivés aux sols rouges lessivés, le profil organique devient de moins en moins profond. Dans les sols fersiallitiques sans réserve calcique, il y a, à 20 cm de profondeur, moins de 1 % de carbone. Après dégradation de la forêt et mise en culture, la matière organique disparaît très vite. Ceci explique les faibles teneurs en carbone des sols rouges lessivés cultivés depuis des époques lointaines.

Reçu pour publication le 9 décembre 1969.

Bibliographie

BARRY J.P. (1960). — Contribution à l'étude de la végétation de la région de Nîmes. *Ann. Biol.*, T. 36, Fasc. 7-12, pp. 312-548.

BOTTNER P., ROMANE, PAQUET H. (1969). — Evolution des sols sur roches-mères calcaires dans le Midi de la France. A paraître.

BOTTNER P., BOUKHRIS M. (1969). — Les sols sur dolomie dans le midi de la France. *Bull. A.F.E.S.* (à paraître).
BRAUN-BLANQUET J. (1936) — La forêt d'Yeuse languedocienne. 147 p. Imprimerie Mari-Lavit, Montpellier.
BRAUN-BLANQUET J. (1964). — Pflanzensoziologie Springer-Verlag WIEN, New-York, 865 p.
CALLOT G., SERVAT E. (1966). — Carte des sols du Roussillon. Conférence sur les sols méditerranéens. Sociedad Espanola de Ciencia del Suelo. Madrid, Espana, pp. 91-94.
DUCHAUFOUR Ph., DOMMERGUES Y. (1963). — Etude des composés humiques de quelques sols tropicaux et subtropicaux. *Sols Africains,* vol. VIII, n° 1, pp. 5-39.
DUCHAUFOUR Ph., JACQUIN F. (1963). — Recherche d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques, contrôlée par l'électrophorèse. *Ann. Agron.* 14, pp. 885-918.
DUCHAUFOUR Ph., JACQUIN F. (1966) — Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bull. de l'E.N.S.A.* Nancy, t. VIII, Fasc. 1, pp. 4-24.
DUGRAND R. (1964). — La garrigue montpellieraine - Essai d'explication d'un paysage. Presses Univ. de Franc. 292 p.
ESPIAU P., LARGUIER M. (1967). — Méthodes et techniques des analyses de terres. Document n° 34 du C.E.P.E. - C.N.R.S. B.P. 1018, Montpellier.
GUILLERM J.L. (1969). — Relations entre la végétation spontanée et le milieu dans les terres cultivées du Bas-Languedoc. Thèse de spécialité (Ecologie) Fac. des Sc. Montpellier, 165 p.
MOLINIER R. (1955). — La végétation des collines de Vitrolles et du plateau d'Arbois. *Bull. Mus. Hist. Nat. de Marseille,* 15, pp. 97-115.
MULLER J. (1963). — Sols bruns méditerranéens et leur évolution. Premiers résultats d'une étude de l'Ile de Port-Cros. *Science du Sol,* n° 1. pp. 47-65.
RUELLAN A. (1966). — Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc. Conf. sur les sols méditer. Sociedad Espagnola de Ciencia del Suelo. Madrid, Espana. pp. 81-89.
RUTTEN P., BOUTEYRE G., VIGNERON J. (1963). — Pédogénèse et géomorphologie dans le Bas-Rhône - Languedoc. Leurs conséquences agrologiques. *Sciences du Sol,* n° 1, pp. 87-102.
THOMANN C. (Mlle) (1963). — Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols, méthode au pyrophosphate de sodium. *Cah. O.R.S.T.O.M.* Pédologie, n° 3, pp. 43-72.
THOMANN C. (Mlle) (1964). — Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. *Cah. O.R.S.T.O.M.* Pédologie, vol. II, fasc. 3, pp. 43-79.
TRABAUD L. (1962). — Monographie phytosociologique et écologique de la région Grabels - Saint-Gély-du-Fesc. Thèse de doctorat de 3e cycle (Ecologie), Fac. des Sciences de Montpellier, 181 p.
WAREMBOURG F. (1969). — Sur la dynamique des sols dans les Cévennes méridionales siliceuses. Thèse de spécialité, Fac. Sc. de Montpellier, 142 p.

THE ORGANIC MATTER OF THE MAIN TYPES OF SOILS UNDER THE BIOCLIMATIC STORY OF EVERGREEN QUERCUS ILEX FOREST IN THE SOUTH OF FRANCE

SUMMARY

The organic matter was studied in fersiallitic soils with calcium reserve (unleached mediterranean red soils), under evergreen Quercus ilex *forest, under* Quercus coccifera *garrigue, under* Brachypodium ramosum *sward and last in fersiallitic soils without calcium reserve (leched mediterranean red soils) under evergreen* Quercus ilex *forest.*

The results were obtained :

1) *From routine analysis made on somewhat fifty profiles : organic carbon, C/N ratio, extraction ratio, humic acids, fulvic acids.*

2) *From a densimetric separation, followed by a fractional extraction of the humic compounds under electrophoretic control (Duchaufour-Jacquin method) applied to a small number of samples.*

The organic matter of the fersiallitic soils with calcium reserve pertains to the calcic mull type, it is comparable to the organic matter of the calcareous soils pertaining to the Quercus ilex *stage. Like the mulls it consists of an important part of humin. But the presence of an absorbant complex strongly saturated in calcium accounts for the relatively weak bonding of a part of the humic compounds with the clays : i.e. this part which is extracted by sodium pyrophosphate at values of pH of 7 and 10. The electrophoretic test shows that, in these mulls, the humic acids are very polymerized.*

The defacement of the forest and the setting of the Brachypodium ramosum *sward are attended by a deterioration of the surface organic horizon. It remains inchanged in depth. The chemical characteristics of the humus under the forest and under the sward are not very different.*

In the dry and impoverished leached horizons of the fersiallitic soils without calcium reserve, the fresh organic matter decomposes slowly ; it builds up an important light organic fraction with a density of less than 1,75, the organic horizon here is superficial. We have here a xeromoder or a cryptomull. The leached acid soils under the Quercus ilex *forest present the same type of organic matter.*